

United States Patent [19]

Calvani et al.

[11] Patent Number: 4,817,206

[45] Date of Patent: Mar. 28, 1989

[54] OPTICAL-FIBER TRANSMISSION SYSTEM WITH POLARIZATION MODULATION AND HETERODYNE COHERENT DETECTION

[75] Inventors: Riccardo Calvani; Renato Caponi; Francesco Cisternino, all of Turin, all of Italy

[73] Assignee: Cselet-Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.P.A., Turin, Italy

[21] Appl. No.: 35,623

[22] Filed: Apr. 3, 1987

[30] Foreign Application Priority Data

Apr. 10, 1986 [IT] Italy 67291 A/86

[51] Int. Cl.⁴ H04B 9/00

[52] U.S. Cl. 455/616; 455/610; 455/617; 455/619; 329/144

[58] Field of Search 455/616, 609, 610, 611, 455/612, 619, 617; 370/2; 372/27; 329/144

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,191,047 6/1965 Oliver 329/144
3,426,207 2/1969 Fried et al. 455/611

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0013434 1/1984 Japan 370/2
0122140 7/1984 Japan 370/2
0047524 3/1985 Japan 455/619
0172842 9/1985 Japan 455/619
0023121 1/1986 Japan 455/616

OTHER PUBLICATIONS

David Smith, "Coherent Fiberoptic Communications", Laser Focus/Electro Optics, Nov. 1985, pp. 92-106.
T. Okoshi et al., "Computation of Bit-Error Rate", Journal of Optical Communications, 1981, pp. 89-96.

Primary Examiner—Robert L. Griffin

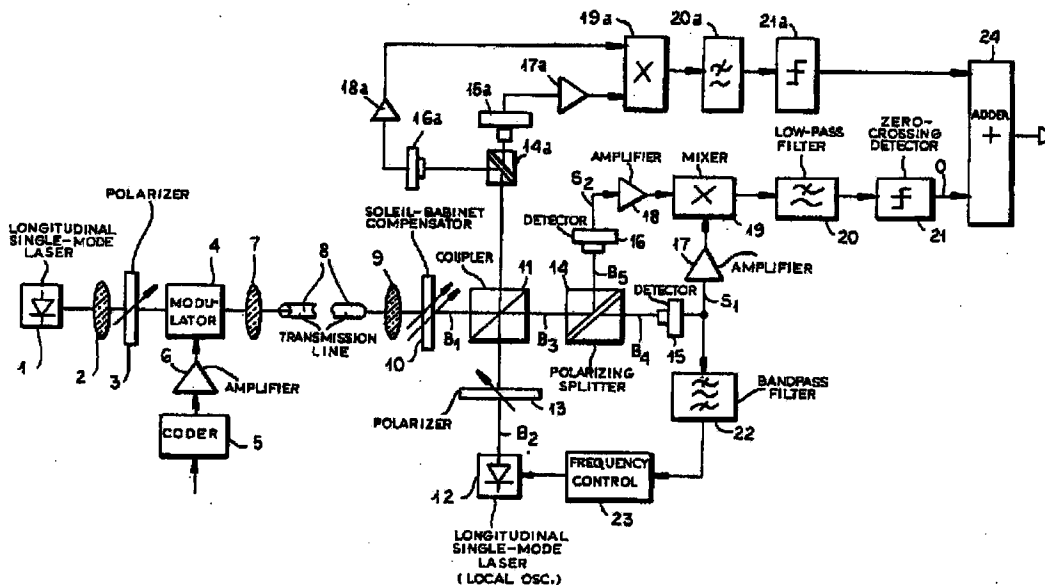
Assistant Examiner—Andrew J. Telesz, Jr.

Attorney, Agent, or Firm—Herbert Dubno

[57] ABSTRACT

Optical-fiber transmission system with heterodyne coherent detection in which, at the transmitting side, the polarization of an optical carrier is modulated, and at the receiving side the beam resulting from a combination of the modulated beam and a beam emitted from a local oscillator is split into two orthogonally-polarized components. The two optical signals are detected and sent to an electronic mixer which receives the two components and carries out a synchronous demodulation eliminating the effects of the linewidth of the source and of the local oscillator.

5 Claims, 1 Drawing Sheet



⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-250428

⑤Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬公開 昭和62年(1987)10月31日

G 02 F 2/00
H 04 B 9/00

7348-2H
L-6538-5K
M-6538-5K

審査請求 有 発明の数 1 (全5頁)

⑭発明の名称 偏光変調及びヘテロダインコヒレント検波を有する光学的-ファイバー伝送システム

⑰特 願 昭62-84943

⑱出 願 昭62(1987)4月8日

優先権主張 ⑲1986年4月10日⑳イタリア(IT)㉑67291-A/86

㉒発 明 者 リツカルド・カルパニ イタリア国ピノ・トリネーゼ(トリノ)、ストラダ・チェリ 30/1

㉓出 願 人 クセルト セントロ・ステュディ・エ・ラボ イタリア国10148トリノ、ヴァ・ググリエルモ・レイ
ラトリ・テレコミニカ ス・ロモリ 274
チオーニ・エツセ・ピー・アー

㉔代 理 人 弁理士 川原田 一穂
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称 偏光変調及びヘテロダインコヒレント検波を有する光学的-ファイバー伝送システム

2. 特許請求の範囲

(1) 第1周波数における光輻射ソース(1)と、情報信号を受信し、ソースより放射された輻射を該信号で変調し、且つ、被変調信号をファイバー(8)へ送出する変調器(4)と、ファイバー(8)から出て行く被変調信号を、局部発振器(12)によつて放射され、且つ、第1輻射と少し異つた周波数を有する第2光輻射と結合する装置(11)及び前記結合の結果、生ずる信号を復調する手段(14,15)よりなるコヒレント光学的ファイバー伝送システムにおいて、ソース(1)及び局部発振器(12)は直線偏光された光輻射を発生する縦方向単一変態レーザーであり、変調器(4)は被変調信号が偏光-変調された信号になるように複屈折状態が変調信号によつて変調される変調器であつて、復調手段は結合結果の信号を2個の

直交偏光された成分へ分離する少く共、偏光分離装置(14)を含み、電気的信号に別々に変換して混合器(19)へ供給し、ソース(1)及び局部発振器(12)のライン巾による位相雑音を相殺する同期復調を遂行することを特徴とするコヒレント光学的-ファイバー伝送システム。

(2) ファイバー(8)によつて導入された被変調信号の偏光状態中の変動及びファイバー(8)の複屈折時の変動を補償するために、ファイバー(8)と結合装置(11)の間に挿入され、フィードバックを有する自動制御システムと協調する補償器(10)をも、含んでいることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載のシステム。

(3) 結合装置(11)は基本的に等しい2出力ビームを発生し、復調手段は偏光分離装置(14)と各々の出力ビーム用の検波器(15)の1組及び混合器(19)を含み、混合器の出力信号は共に加えられることを特徴とする特許請求の範囲第1項又は第2項記載のシステム。

(4) 前記結合された信号成分の1個の変換より

結果として生ずる電気信号によつて駆動される局部発振器(12)の周波数の自動制御用装置(22, 23)を含むことを特徴とする特許請求の範囲第1項〜第3項のいずれか1項記載のシステム。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は光学的ファイバー(fibre)通信システムに関し、且つ、より特別には偏光変調及びヘテロダイン(heterodyne)コヒレント(coherent)検波伝送システムに関する。

ホモダイン(homodyne)あるいはヘテロダイン検波(以後は、全体に関してコヒレント通信システムとして引用する)は無線周波通信にて、既によく知られており、且つ、光学的通信、第2あるいは第3伝送ウィンドウ(window)(1.3-1.6 μ m)と呼ばれる内に含まれた特に長い波長領域に関して用いられる。

これと対照的に、コヒレント通信システムは光電子変換中の量子雑音による限度附近までの感度を許容する。その上、さらに光学的キャリヤ

Fiberoptic)通信等の書面中になされている。該解析は位相変調システムによつて最良感度特性が得られ、次には、周波数及び振巾変調システムの順を示す。すべてのこれらのシステムは既に述べた如く直接検波システムより、良好なる性能を有する。

提案されたコヒレントシステムは光ソースとして、検波時位相雑音を制限するために非常に狭いライン(line)を有するレーザーを今迄も必要としている。より高い感度を必要とすればするほど、ライン巾圧迫は、より厳しくなる：より特別には、周波数あるいは振巾変調システムに関しては、ライン巾は伝送に用いられるビット(bit)比の20%を超えることが出来ないが、一方、位相変調システムではその必要とされるライン巾はビット比、数千分の1程度を有する。

発明が解決しようとする問題点

著しい困難なくして、現今、得られるビット比において、これらの必要事項は商業的に利用可能な半導体レーザーによつて満足されない。ソース

(carrier)を無線周波数への変換によつて、電子フィルターの選択性が光学的伝送に使用可能で、かくしてFDM(周波数分割多重)通信の場合の利用出来るファイバースバンド(fibre band)のより完全なる利用を許容する。

従来の技術

種々なる光学的-ファイバーコヒレント通信システムはよく知られているところであつて、該システムは振巾、周波数あるいは位相又は微分位相変調を使用する。これらのシステムの性能相互、且つ直接検波システムとの比較考量は光学的通信の雑誌、第2巻(1981)、N.3、89-96頁にテー・オコシ(T. Okoshi)、ケー・エムラ(K. Emura)、ケー・キクチ(K. Kikuchi)、アール・テーエイチ(R. Th. Kerson)による“種々のヘテロダイン及びコヒレント型光学的通信計画のビット(bit)誤差比の計算”及びレーザホーカス(Laser Focus)/電子-光学、1985年11月、92-106頁のデー・ダブリュ・スミス(D.W. Smith)による“コヒレントファイバーオプテック(Coherent

は振巾あるいは周波数変調伝送に使用可能なライン巾特性を有する、一般的に呼称されるDFB(ディストリビューテッドフィードバック)(distributed feedback)あるいはDBR(ディストリビューテッドブラッグリフレクター)(distributed Bragg reflector)レーザーの如きが文献中に詳述されているが、未だかかるソースは商業的に未だ利用可能ではない。

位相変調伝送に必要なライン巾を有するソースは、実用上関心のビット比において、半導体レーザーを外部キャビティ(cavity)で結合することで得られる；しかしながらこれら種類のソースは非常に複雑で、ほとんど信頼出来ず、且つ、実使用界で取扱うことが困難である。

問題点を解決するための手段、作用及び効果

本発明は、これに反して、コヒレント伝送システムを提供し、変調形式及び検波様式はソースライン巾に関する圧迫を著しく減じ、商業的に利用可能なソースの使用によつて実用上の関心のビット比で、良き性能を得ることが出来る。

該システムは添附クレームによつて画定され、且つ、詳細が後続のテキストに詳細が述べられており、送信端は偏光変調に基いている。受信端においては、異つた周波数（ヘテロダイニング）（heterodyning）で局部発振器と混合した後、ビート信号の偏光分割及び検波が2個の分離したフォトダイオードで遂行される。ソース及び局部発振器の位相雑音が重畳された2電気信号は共に混合される：本経過において、位相雑音は相殺され、伝送された位相情報のみが残存する。

実施例

本発明を添附された図面を参照して説明する。第1図中に示されるように軸線沿い単一状態セミコンダクターレーザー1からの出力信号は光学的システム2によつて平行化され且つポーラライザー（polarizer）3を通過し、該ポーラライザー3はレーザーからの輻射出力を直線的に偏光し、即ちその直線偏光を改良する。該偏光輻射は変調器4（即ち、電子-光学的あるいはファラディ（Faraday）効果変調器）へ送出され、その複屈折

され、2偏光状態はまだ存在する。該ファイバーは低速複屈折を有せねばならない。さもないとコヒレントシステム（100 kmsの程度の）に用いられるファイバー長の故に、2偏光間の伝播時間差は該システムを使用不能にするだろう。

ファイバー8からの出力信号は光学系9で集められ、補償器10へ送られる。即ちソレイル-バビネット（Solleil Babinet）補償器であつて、これによつて2相互直角直線偏光状態を恢復する。該補償器は偏光制御システムとファイバー複屈折の時間内の可能なる変動をも又補償するように協調されることが出来る。かかる偏光制御システムは文献に広く詳述されている。

補償されたビームはXカップラー（coupler）11によつて第2ビームと結合され、該ビームは第2図に示されるように参照軸に関して45°直線的に偏光され、 $E(0)$ 、 $E(\pi)$ は偏光状態に相応した電界であり、位相0と π 及び統一振巾比、 E_x 及び E_y は上述の界成分である。かかる第2ビームは局部発振器12へ供給される。又該発振器は縦方向単

状態は変調電気信号（データ信号）によつて変調される。簡単化するために、これをバイナリ（binary）信号として考え、前記信号は増巾器6を通過してコーダー（coder）5へ供給され、該増巾器は変調器を駆動するに充分な値に、その信号を増巾する。

レーザー（laser）輻射偏光に関する変調器複屈折の相対的樹立は変調器4から出力信号が区別されるのに容易である2偏光状態を提供するようになされねばならない。特別な例として、レーザー1から放射された光は高速及び低速変調器軸に関して45°偏光されていると、変調器からの出力ビーム（beam）は2相互直角偏光輻射を含む故、電界 E_x と E_y は相対位相0と π 、これはデータ信号のシンボル（symbol）で1及び0に各々対応することで特徴づけられる。

偏光-被変調キャリア（modulated carrier）である変調器からの輻射出力は光学系7を通過して低速複屈折単一状態ファイバー（fibre）8へ結合され、その出力にてファイバー8の複屈折で変調

一状態半導体レーザーであり、ソース1とは可能な限度で同様なるライン巾特性を有するが、ソース1の周波数とは異つた周波数で動作する。周波数差は必要なるスペクトラム分離を確保するように該ライン巾より大なるべきである。局部発振器12は偏光器13と協調し、偏光器3と同じ機能を有する。

再結合された信号は偏光に関して解析される。装置11は2出力ビームに上昇を与え、一入力ビームの反射部分と他方の入力ビームの送出された部分の各々及びその逆を含むことを考慮に入れると、偏光解析はパワーロス（power loss）を避けるよう両出力ビームに関して作用されることが出来る。より簡単な解決はカップラー11を局部発振器出力の逆比例利用（10/90）を得るためのアンバランス分配比（即ち90/10）で使用することが出来る。本図面は装置11の単一出力ビームの解析を限定する解決を引用する。

かかる出力ビームは本図平面即ち装置11の入射面に対して直角なる2要素の分離平面で偏光ビ

ーム分割器 / 4、即ちグラン-テイラープリズム (Glan-Taylor prism) へ送出される。プリズム / 4からの出力、 x 軸に従つて偏光された輻射及び y 軸に従つて偏光された輻射は検波器 / 5、/ 6で電気信号に変換され増巾器 / 7、/ 8を通つて、混合器 / 9の入力へ与えられ、該信号の同期復調を遂行する。

この操作は2検波出力(第2図、異成分 E_x に対応する信号)の1個が情報信号で位相変調される無線周波キャリアで成立し、一方において他(E_y 成分に対応する)が該キャリアのみを含む無線周波キャリアで成立する事実に基づいている。これらの2信号は混合器で増巾されて結果として上記に述べたコヒレント復調となる。

2送信シンボルは位相0と π に対応し、且つ、高周波成分を濾波後、混合器からの出力信号は位相余弦に比例することを考慮すると、検波信号は変調信号のシンボル / と0に対応する値+ / と- / で特徴づけられる結果となる。低域濾波器20は混合器出力に位置してベース-バンド信号を限

信を必要とすることなしに、ソースとして使用可能である。

2個のレーザー間の周波数差の可能な変動が該混合器チャンネルに等しく影響を与えるのでソース / と局部発振器 / 2間の厳しい周波数ロックは如何に不必要であるかに注目することは又、有用な事である。明らかにかかる変動が該周波数差(中間周波数)の値を検波器のバンド巾-感度を逸脱して高くすることなく、逆に云えば、中間周波検波の必要条件がもはや成立しなくなるまで、非常に低くしないような限度を、前記は確保している。しかしながら、適切であると見なされる場合には、いつでも1個の検波器(情報シンボルを含まない1個)の出力信号の一部分を帯域濾波器22によつて、抽出し、且つ通常の周波数自動制御システムによつて局部発振器 / 2にフィードバックすることが可能である。

ここに詳述されたことは非制限例によつてのみ与えられたものであつて変化及び変更は本発明のスコップから逸脱することなしに可能である。よ

定する。スレッシホールド(threshold)回路21、特に零交叉検波器はデータ信号を供給する。

局部発振器とそのソース間の周波数分離に相応した圧迫に関して、かかる分離はヘテロダイン処理によつて生ぜられた中間周波数の検波を許容するために、常に発振器及びソースのライン巾よりも大きく保たなければならない。

偏光解析及び後続の同期復調のためビット(bit)周波数の有限ソースライン巾の影響によつて表現される最も厳しい圧迫が除去される。事実上、偏光ビーム分割器 / 4の出力に存在する該2個の光学的ビート信号は情報信号の他に、このような有限の巾による位相ノイズを含む。混合器 / 9は両信号の減算法で動作するから、このノイズは実際上相殺され、その出力に情報信号のみを残す事になる。但し、セパレータ / 4後の2光学的経路は同一であるとする。それ故に、既に述べた如くソースライン巾はビット周波数に影響しないので、商業的に利用可能なる縦方向単一姿勢レーザーは、実現するに難かしい極端に高い周波数における送

り特別にはバイナリ(binary)信号を符号化する該2偏光状態は被変調信号及び参照信号の振巾を相互に独立ならしむるような非直交であり得る。

最後に、ここに開示された形態の伝送システムはマルチレベル(multi-level)伝送用として変化を要せずして使用することが可能である。

4図面の簡単な説明

第1図は本発明の概要図である。第2図は参照システム軸に関連した情報の偏光状態の電界を示す。

1…光輻射ソース、2…光学システム、3…偏光器、4…変調器、5…コーダー(符号器)、6…増巾器、7…光学システム、8…低速複屈折単一姿勢ファイバー、9…光学系、10…補償器、11…Xカップラー、12…発振器、13…偏光器、14…偏光ビーム分割器、15、16…検波器、17、18…増巾器、19…混合器、20…低域濾波器、21…スレッシホールド回路。

代理人の氏名 川原田 一 穂

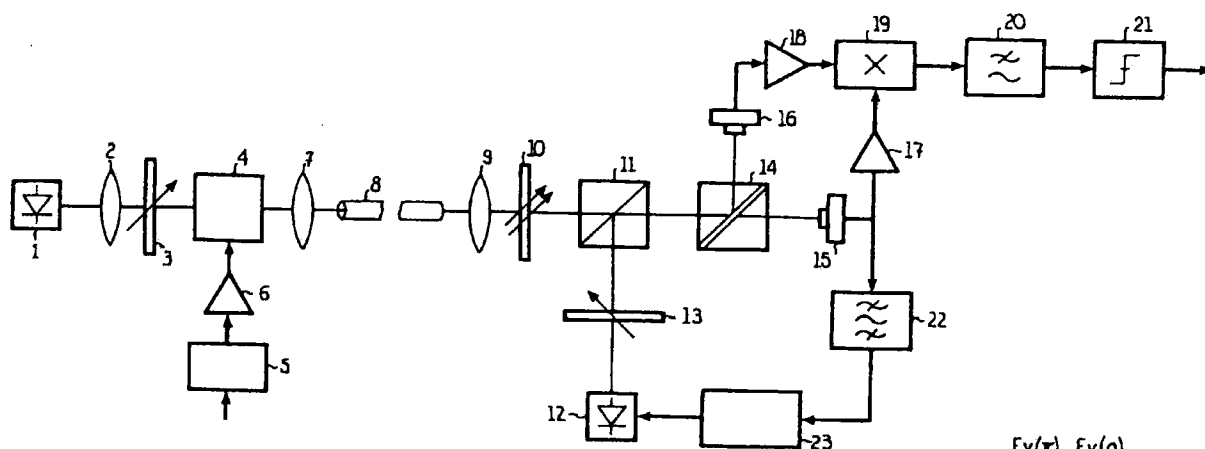


FIG. 1

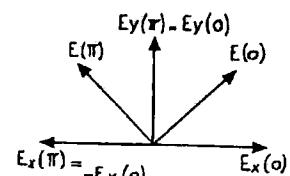


FIG. 2

第1頁の続き

⑦発 明 者	レ ナ ト ・ カ ボ ニ	イ タ リー 国 ト リ ノ、 ヴ イ ア ・ ビ ガ フ ェ ッ タ	6
⑦発 明 者	フ ラ ン チ エ ス コ ・ チ ス	イ タ リー 国 ト リ ノ、 チ ・ ソ ・ ラ ツ コ ニ ジ	155
	テ ル ニ ノ		